

**В. В. КНЯЗЕВ**, зав. отд., канд. техн. наук, НТУ «ХПИ»;  
**Ю. С. НЕМЧЕНКО**, гл. метролог, НТУ «ХПИ»;  
**И. П. ЛЕСНОЙ**, зав. лаб., НТУ «ХПИ»;  
**С. Б. СОМХИЕВ**, вед. инж., НТУ «ХПИ»;  
**Т. Н. ОСТРОВЕРХ**, вед. инж., НТУ «ХПИ»

## **ГЕНЕРАТОР ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ БОРТОВОГО АВИАЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ВОСПРИИМЧИВОСТЬ К ПЕРЕХОДНЫМ ПРОЦЕССАМ, ВЫЗВАННЫМ МОЛНИЕЙ («МНОГОКРАТНЫЕ ВСПЫШКИ») ИГЛА-МВ-10 МГц**

Описано конструкцію та результати атестації генератора, призначеного для випробувань бортового авіаційного обладнання на сприйнятливість до перехідних процесів, викликаних блискавкою «багаторазові спалахи», відповідно до вимог міжнародних стандартів. Генератор виробляє циклограми імпульсів напруги форми 3 частотою 10 МГц по п'ятих рівнях іспитів, випробування проводяться методом «кабельної інжекції».

The construction and the testing of the attestation of the generator intended for testing of the on-board aircraft equipment on susceptibility to fast transient/burst, caused lightning, according to International standards are described. The apparatus generates the mission profile of the test voltage of the form 3 frequencies 10 MGh on five levels, test are conducted by method «Cable injection».

В настоящее время обязательным видом испытаний бортового электро-технического и электронного оборудования (БАО) летательных аппаратов являются испытания на восприимчивость к переходным процессам, вызванным молнией. Эти процессы возникают при прямом ударе молнии в корпус летательного аппарата и последующем растекании токов молнии по различным металлическим узлам этих аппаратов, в частности, по межблочным линиям связи (МЛС).

Высокая поражающая эффективность токов растекания объясняется тем, что при этом в МЛС возникают различного вида наведенные высокие импульсные напряжения и большие токи, представляющие собой серьезную угрозу для современной слаботочной электроники БАО.

Поэтому стойкость к переходным процессам, вызванным молнией, выделена в отдельный вид испытаний, который регламентируется нормативным документом EUROCAE ED-14D/ RTCA-DO-160D «Условия окружающей среды и методики испытаний бортового оборудования», Раздел 22: «Восприимчивость к переходным процессам, вызванным молнией» (отечественный аналог этого документа КТР-ВВФ/DO-160D/ED-14D/ [1]). Этот НД с 2004 года распространяется и на все типы БАО, выпускаемые в Украине и странах СНГ.

В данной статье мы рассмотрим испытания «многократные вспышки», реализуемые методом кабельной инъекции, при котором испытательные импульсы заданной формы и амплитуды индуцируются в проводниках МЛС при помощи инъекционного трансформатора. Этот метод используется для проверки способности самолетного оборудования выдерживать внутренние элек-

ромагнитные эффекты, создаваемые внешним воздействием молний без функциональных отказов и повреждений.

Идеологически схема формирования импульсов напряжения и тока требуемой формы приведена на рис. 1.

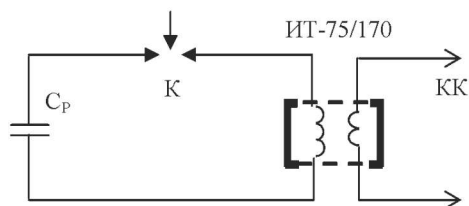


Рисунок 1 – Схема формирования импульсов напряжения и тока

В этой схеме конденсатор  $C_p$ , заряжаемый до определенного напряжения, разряжается с частотой 10 МГц через управляемый механический коммутатор  $K$  на первичную обмотку импульсного трансформатора ИТ-75/170 (инжектора), который и является основным элементом схемы. ИТ-75/170 состоит из 2-х одновитковых обмоток, надетых на замкнутый ферритовый сердечник. Этот сердечник состоит из 8 склеенных вместе ферритов кольцеобразной формы марки 60НН с габаритами 120x78x18 мм. Первичная обмотка представляет собой один виток плоской медной шины сечением  $25 \times 0,25 \text{ мм}^2$ , концы которой выведены на входные клеммы ИТ-75/170. Габариты ИТ-75/170 – 170x130x150 мм. Вторичная обмотка («контрольный контур» – КК) представляет собой виток провода диаметром 2 мм, концы которого выведены на разъем типа СР75-54. Для того чтобы виток КК располагался точно по центру ИТ-75/170, он встроен в специальную центрирующую конструкцию. КК, в соответствии с требованиями НД, служит для измерения амплитудно-временных параметров (АВП) испытательных токов и напряжений при помощи внешних средств измерительной техники (шунта измерительного ШК-50 или щупа высоковольтного P5100 100X). Генератор ИГЛА-МВ-10 МГц предназначен для проведения испытаний «многократные вспышки» методом «кабельной инъекции» БАО в полном объеме с требованиями НД [1] испытательными импульсами напряжения и тока формы «3» частотой 10 МГц обеих полярностей по пяти уровням испытаний. В табл. 1 приведены требования к форме и АВП испытательных импульсов напряжения и тока, которые с учетом допусков в полном объеме реализованы в генераторе ИГЛА-МВ-10 МГц.

Генератор ИГЛА-МВ-10 МГц представляет собой высоковольтную электроразрядную установку с программируемым таймером-коммутатором, которая генерирует многократные испытательные импульсы напряжений и тока положительной и отрицательной полярности по пяти уровням испытаний. Циклограмма испытательных многократных вспышек приведена на рис. 2.

Общий вид генератора ИГЛА-МВ-10 МГц с ИТ-75/170 приведен на рис. 3, а передняя панель генератора – на рис. 4.

Таблица 1 – требования к форме и АВП испытательных импульсов  
напряжения и тока

Параметр	Напряжение $U_{исп}$ (ф.3)	Ток $I_{пред}$ (ф.3)
1. Испытательный комплект (Примечание 1)		
2. Уровни испытаний: – 1 – 2 – 3 – 4 – 5 (Примечание 2)	<b>(60 + 12) В</b> <b>(150 + 30) В</b> <b>(360 + 72) В</b> <b>(900 + 180) В</b> <b>(1920 + 384) В</b>	$\leq (1 + 0,2) \text{ А}$ $\leq (2,5 + 0,5) \text{ А}$ $\leq (6 + 1,2) \text{ А}$ $\leq (15 + 3) \text{ А}$ $\leq (32 + 6,4) \text{ А}$
3. Частота колебаний, МГц	<b>10 ± 2</b>	10 ± 2
4. Степень затухания, $\partial$	$U_{m5} = (0,25 \div 0,75) U_{m1}$	$I_{m5} = (0,25 \div 0,75) I_{m1}$
Примечание 1. Для каждого испытательного комплекта $U_{исп}$ представляет собой уровень испытательного напряжения в Вольтах и $I_{пред}$ представляет собой предельный уровень тока в Амперах. Примечание 2. Допустимые отклонения амплитуды + 10 % – 0 %. Примечание 3. Импульсы напряжения и тока могут не совпадать по фазе.		

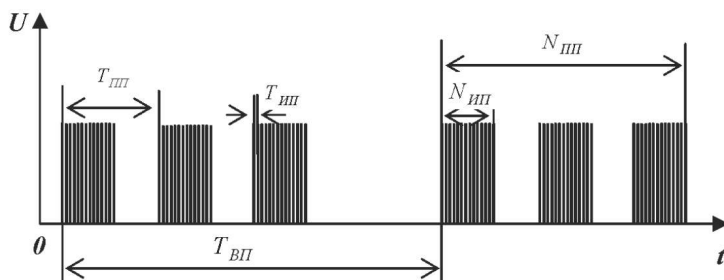


Рисунок 2 – Циклограмма многоразовых всплеск

Временные параметры циклограммы:

- интервал между испытательными импульсами в пачке  $T_{ИП}$  – от 50 мкс до 1000 мкс;

- количество испытательных импульсов в пачке  $N_{III} = 20$ ;
- интервал между пачками  $T_{III}$  – от 30 мс до 300 мс;
- количество пачек в испытательном пакете  $N_{III} = 3$ ;
- интервал между испытательными пакетами  $T_{ВП}$  –  $(3с. \pm 0,3 с.)$ .



Рисунок 3 – Общий вид генератора ИГЛА-МВ-10 МГц с ИТ-75/170



Рисунок 4 – Передняя панель генератора ИГЛА-МВ-10 МГц

Генератор ИГЛА-МВ-10 МГц собран в металлическом корпусе с габаритами 442x110x305 мм. На верхней панели генератора имеется 4 ответных части штыревых разъемов (клеммы) для подстыковки к генератору ИТ-75/170. На передней панели генератора ИГЛА-МВ-10 МГц (рис. 4) расположены следующие органы управления и контроля:

- клавиша СЕТЬ с подсветкой служит для подачи напряжения питания 220 В 50 Гц на генератор ИГЛА-МВ-10 МГц и для его отключения после окончания работы;
- переключатель ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ УРОВЕНЬ служит для установления уровня испытательного напряжения генератора ИГЛА-МВ-10 МГц и имеет пять положений: «1», «2», «3», «4», «5»;
- табло ТАЙМЕРА Т-300 служит для отображения длительности циклограмм работы генератора ИГЛА-МВ-10 МГц (5 минут);

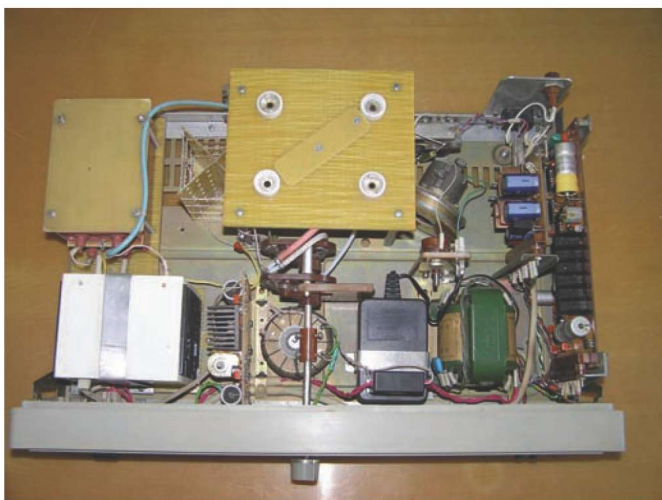
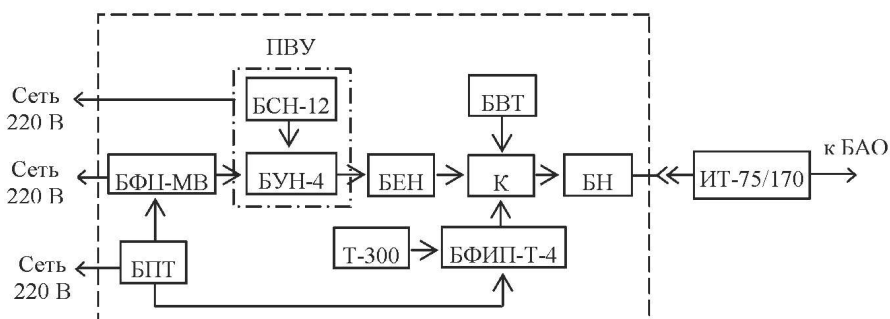


Рисунок 5 – Расположение элементов внутри корпуса генератора ИГЛА-КИ-3

#### Генератор ИГЛА-МВ-10 МГц



БФЦ-МВ – блок формирования циклограммы испытательного импульса;

БСН-12 – блок стабилизации напряжения;

БУН-4 – блок умножения высокого напряжения;

БЕН – блок емкостных накопителей;

К – высоковольтный коммутатор (тригatron);

БН – блок нагрузок;

БФИП-Т-4 – блок формирования импульса поджига тригatronа;

Т-300 – электронный таймер 300 с (5 минут);

БВТ – блок вентиляции тригatronа;

БПТ – блок питания;

ИТ-75/170 – инжектирующий трансформатор;

БАО – бортовое авиационное оборудование

Рисунок 6 – Блок-схема генератора ИГЛА-МВ-10 МГц

- кнопка СТАРТ/СТОП служит для запуска и остановки генератора ИГЛА-МВ-10 МГц;
- кнопка РЕЖИМ служит для изменения длительности циклограммы.

На задней панели генератора ИГЛА-МВ-10 МГц расположены следующие органы управления и контроля:

- клемма  $\perp$  служит для подключения генератора ИГЛА-МВ-10 МГц к контуру заземления.
- разъем  $\sim 220$  В служит для подключения к генератору ИГЛА-МВ-10 МГц сетевого кабеля;
- «3А»– предохранители.

Расположение элементов внутри корпуса генератора ИГЛА-МВ-10 МГц приведено на рис. 5.

Блок-схема генератора ИГЛА-МВ-10 МГц приведена на рис. 6.

На рис. 7 - 8 приведены осциллограммы выходных импульсов напряжения и тока формы «3» положительной и отрицательной полярностей для 5 уровня испытаний.

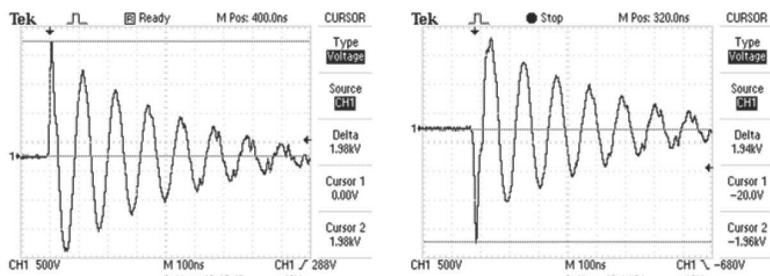


Рисунок 7 – Типовые осциллограммы испытательного напряжения 5 уровня положительной и отрицательной полярностей

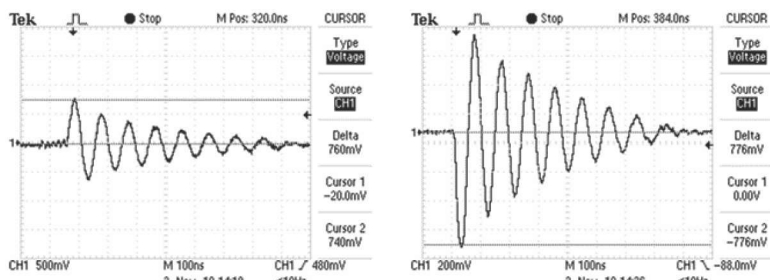
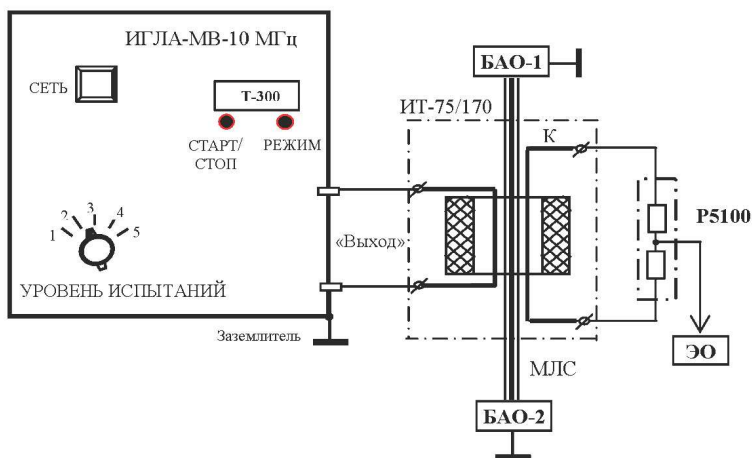


Рисунок 8 – Типовые осциллограммы предельного тока 5 уровня положительной и отрицательной полярностей

Схема испытаний БАО с МЛС приведена на рис. 9, а общий вид генератора во время исследования его выходных характеристик – на рис. 10.



ИГЛА-MB-10 МГц – испытательный генератор;  
 ИТ-75/170 – инжектирующий трансформатор;  
 КК – калибровочный контур;  
 P5100 – щуп высоковольтный P5100 100X;  
 МЛС – межблочная линия связи;  
 БАО-1, БАО-2 – испытываемое оборудование  
 ЭО – осциллограф Tektronix TDS 1012

Рисунок 9 – Схема испытаний БАО



Рисунок 10 – Общий вид генератора во время исследования его выходных характеристик (с КК и ЭО)

**Выводы:** Генератор ИГЛА-MB-10 МГц успешно прошел первичную аттестацию с участием представителей ГП «Харьковстандартметрология» по разработанной в НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ» соответствующей программе

и методике аттестации, введен эксплуатацию в НИО-2 НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ» и участвует в испытаниях БАО на восприимчивость к переходным процессам, вызванным молнией методом «многократные вспышки».

**Список литературы:** 1. КТР-ВВФ /DO-160D/ED-14D/. Условия эксплуатации и окружающей среды для бортового авиационного оборудования. (Внешние воздействующие факторы – ВВФ). Требования, нормы и методы испытаний. Раздел 22.0 Восприимчивость к переходным процессам, вызванным молнией.

*Поступила в редколлегию 06.04.2011.*

УДК 551.594

**Д. Г. КОЛИУШКО**, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., НТУ «ХПИ»;  
**А. А. ПЕТКОВ**, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., НТУ «ХПИ»

## **СТАТИСТИЧЕСКАЯ ДВУМЕРНАЯ МОДЕЛЬ РАЗРЯДА МОЛНИИ НА БЕСКОНЕЧНЫЙ ПРЯМОЛИНЕЙНЫЙ ПРОВОДНИК**

У роботі запропонована статистична двовимірна модель розряду блискавки на нескінченний прямолінійний провідник. Наведено результати розрахунків імовірності поразки різних ділянок провідника.

In work the statistical two-dimensional model of the lightning stroke on an infinite rectilinear conductor is offered. The calculations results of defeat probability of various conductor sites are given.

**Постановка проблемы.** Вопросам молниезащиты объектов различного назначения в настоящее время уделяется все более значительное внимание. Это связано, в первую очередь, с опасными, а порой и катастрофическими последствиями поражения молнией объектов, обеспечивающих жизнедеятельность человеческого сообщества. В данный момент отсутствуют средства, позволяющие полностью исключить попадание разряда молнии даже в «защищенные» зоны. Создавшаяся ситуация инициирует разнонаправленные теоретические и экспериментальные исследования в области молниезащиты.

**Анализ публикаций.** Материалы, проведенные в [1], показывают, что имеют место существенные противоречия между действующей нормативной базой, например [2, 3], и фактическими данными по поражению различных объектов, что характерно для всего периода проведения работ по молниезащите. В работе [4], посвященной использованию вероятностного подхода к вопросу молниезащиты, в частности показано, что к протяженным объектам, размещенным в зоне защиты молниеотводов, декларируемых в нормативных документах, не применимы прогнозы относительно числа их поражений молнией. В работе [5], которая содержит общую схему развития разряда молнии,